ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПЛАНИРОВАНИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

У.М. Султангазин, Н.Р. Муратова, А.Г. Терехов

Институт космических исследований Министерства образования и науки Республики Казахстан (ИКИ МОН РК). E-mail: usultan@academset.kz

Описывается опыт проведения космического мониторинга основных зерносеющих регионов Казахстана на основе спутниковых систем NOAA/AVHRR и TERRA/MODIS по заказу Министерства сельского хозяйства РК. На базе спутниковой информации зафиксированы календарные даты ярового сева, размер посевных площадей зерновых культур и парующихся полей, дана оценка состояния посевов в фазе колошения и прогноз валового сбора зерна месячной заблаговременности. В работе приведены некоторые результаты спутникового мониторинга 2002 и 2003 гг. Кратко изложены основные методы, используемые при обработке данных дистанционного зондирования.

Введение

Сельское хозяйство является важной отраслью национальной экономики Республики Казахстан. Развитие эффективной системы производства зерна – основы экспортной сельскохозяйственной продукции республики — в условиях рыночной экономики предъявляет особые требования к оперативности и объективности информации, необходимой республиканским управляющим органам. Наличие государственных программ поддержки сельскохозяйственных производителей также стимулирует развитие методов объективного контроля параметров зернового производства. Широкие возможности использования спутниковых данных могут сыграть при этом важную роль. Опыт мировой практики показывает, что сельское хозяйство является одним из основных направлений использования спутниковой информации. Особую актуальность в этом развивающемся и перспективном направлении имеет задача прогноза урожайности зерновых культур.

На сегодняшний день реально доступными для Казахстана являются данные спутников серии NOAA и TERRA. Американские спутниковые данные NOAA/AVHRR низкого разрешения (1 км) и TERRA/MODIS среднего разрешения (250 м) имеют широкую полосу сканирования поверхности Земли, свыше 2200 км. Это позволяет обеспечить высокую частоту посещения спутником одной точки и практически осуществлять ежедневный мониторинг всей территории Казахстана. Система дистанционной оценки параметров сельскохозяйственного производства на базе спутниковой информации низкого и среднего разрешения наиболее эффективна для территории Северного Казахстана, где зона неполивного земледелия простирается на 2000 км с востока на запад и свыше 700 км с юга на север. Эффективность этих спутниковых данных обусловлена крупными размерами сельскохозяйственных полей (от 200 до 500 га), располагающихся компактными массивами. Подобная практика монокультурного выращивания яровых зерновых культур создает исключительно благоприятные условия использования спутниковых данных низкого и среднего разрешения для задач мониторинга.

Развитие национальной системы космического мониторинга сельского хозяйства РК

Сегодня многие страны мира занимаются развитием систем космического мониторинга в интересах различных отраслей экономики. В Казахстане в настоящий момент начато развертывание национальной системы космического мониторинга. Ее основное назначение – контроль использования земельных ресурсов и оперативное информирование Министерства сельского хозяйства РК (МСХ) и других заинтересованных государственных и коммерческих структур объективными данными о параметрах сельскохозяйственного

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

производства, в том числе зернового на севере Казахстана. На рис. 1 приведена общая схема космического и подспутникового мониторинга сельскохозяйственного назначения.

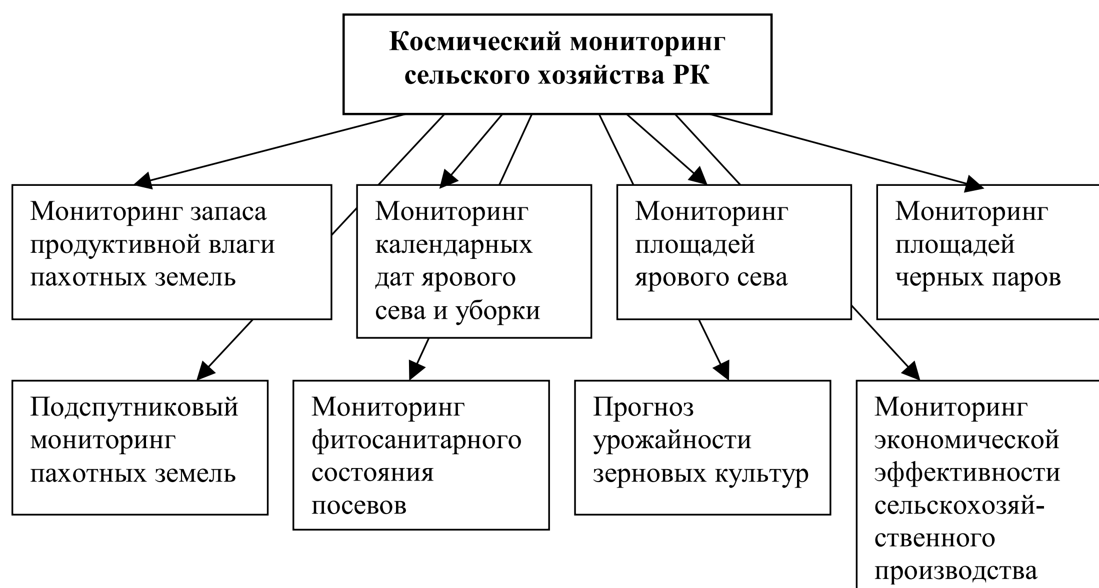


Рис 1. Схема космического и подспутникового мониторинга сельскохозяйственного назначения

Полная реализация предложенной схемы возможна только в рамках государственного финансирования. Определенная часть этой программы уже реализована в Институте космических исследований (ИКИ МОН РК). В 1994 г. введен в эксплуатацию Центр приема и обработки космической информации ИКИ МОН РК в городе Алматы. В настоящее время в центре ежедневно осуществляется прием информации со спутников серии NOAA, TERRA и «Метеор-3М», которая позволяет получать космическую съемку территории Казахстана до 5-6 раз в сутки. В начале 2004 г. открыт новый центр института в городе Астане. Здесь осуществляется прием данных с индийского спутника IRS. В ИКИ на протяжении многих лет разрабатываются технологии и имеется определенный опыт использования данных космического мониторинга для оценки состояния сельскохозяйственных угодий Казахстана [1–5].

Опыт решения сельскохозяйственных задач с помощью спутниковых данных в Казахстане

Практическое использование спутниковых данных для определения размеров посевных площадей яровых зерновых культур в Северном Казахстане в ИКИ было инициировано заказом Правительства РК в 1997 г. Первоначально использовалась спутниковая информация NOAA низкого пространственного разрешения (1 км). При выполнении заказа МСХ РК в 1998 г. к анализу привлекались многозональные снимки среднего разрешения (160 м) российского спутника «Ресурс»/МСУ-СК. В 2000–2001 гг. при помощи специальной программы TACIS технической помощи Европейского сообщества (проект ISEAM) к условиям Казахстана была адаптирована европейская технология анализа сельскохозяйственного производства. С 2002 г. мониторинг землепользования основывается на данных TERRA/MODIS (250 м). Соответствие между наземными обследованиями Акмолинской области в 2000–2002 гг. и результатами дешифровки космической информации среднего разрешения «Ресурс»/МСУ-СК и TERRA/MODIS составляет более 96 %. Из 1729 обследованных полей зерновых культур по спутниковым данным к этому типу отнесено 1679. Анализ несоответствий (3 %) показал, что они были связаны в основном с дефицитом без-

облачной информации или сильными отклонениями в календарных датах проведения основных сельскохозяйственных работ.

Начиная с 2002 г., космический мониторинг включает наблюдения пахотных земель Акмолинской, Северо-Казахстанской и Кустанайской областей, с площадью зерновых посевов около 10 млн га. Некоторые задачи охватывают также Карагандинскую, Павлодарскую и Восточно-Казахстанскую области. Основным заказчиком работ, включающих контроль выполнения агротехнических работ, оценку посевных площадей и прогноз валового сбора зерна, является МСХ РК.

Динамика ярового сева 2003 года по спутниковым данным

Оценка календарных дат ярового сева на сельскохозяйственных полях Северного Казахстана по данным дистанционного зондирования основывалась на ежедневном мониторинге всей территории в период проведения весенних агротехнических работ с помощью спутниковой системы TERRA/MODIS. Для погодных условий 2003 г. наблюдения за весенними работами осуществлялись с 1 мая по 15 июня. Принцип оценки даты посева основан на фиксации резких изменений спектральных характеристик сельскохозяйственных полей после их механической обработки, 32–34-й день по рис. 2, 3. Согласно рекомендуемым агротехническим нормам весенняя обработка земли проводится несколько раз (закрытие влаги, сев). Дата последней обработки, зафиксированной в течение периода наблюдения, принималась за дату сева. На рис. 4 в качестве примера приведен график динамики ярового сева 2003 г. в Акмолинской области.

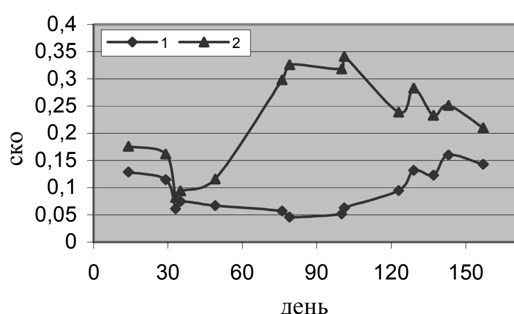


Рис. 2. Динамика изменения спектральных коэффициентов отражения пшеничного поля Северного Казахстана в течение вегетационного периода 2003 г. в 1-м (620–670 нм) и 2-м (841–876 нм) каналах TERRA/MODIS (250 м). За точку отсчета принято 1 мая

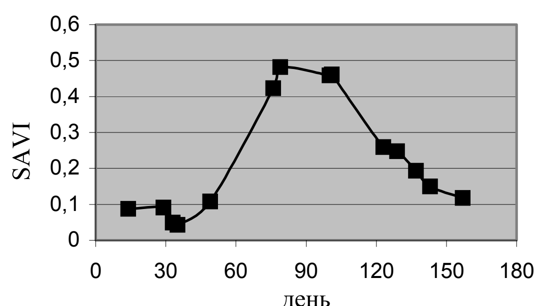


Рис. 3. Динамика изменения растительного индекса SAVI (soil adjusted vegetation index [6]) в течение вегетационного периода 2003 г. для пшеничного поля Северного Казахстана. За начало отсчета принято 1 мая

Оценка размеров посевных площадей

В качестве базовой методики расчета посевных площадей по материалам космической съемки для северных областей республики используется прямая оценка размера площади спутниковой маски (пиксельный счет в равновеликой проекции Ламберта). Маска ярового сева содержит не только зерновые культуры, но и обработанные в период сева паровые поля и другие, незерновые яровые сельскохозяйственные культуры, перечень которых зависит от особенностей землепользования конкретной области. Для оценки площадей только зерновых культур применяется определенная коррекция. Она учитывает вклад не зерновых культур и площадей чистых паров области. При этом доля черных паров оцени-

вается по данным космического мониторинга, а информация об остальных культурах берется из официальных источников. Суммарная доля этих объектов для областей Северного Казахстана обычно находится в пределах 10–20 % от общей площади ярового сева.

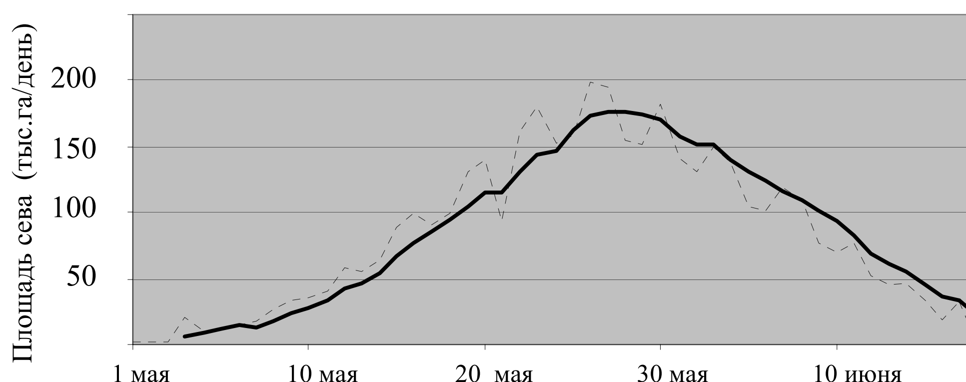


Рис. 4. Динамика посевных работ Акмолинской области в сезоне 2003 года, по данным мониторинга TERRA/MODIS

Другим важным моментом является учет влияния граничных пикселей маски. При анализе спутниковых данных среднего разрешения TERRA/MODIS (площадь пикселя 6,25 га) доля граничных пикселей относительно велика. В состав граничных пикселей маски входят не только зерновые поля, но и прилегающие территории, что приводит к некоторой погрешности в расчетах. С другой стороны, определенная часть зерновых площадей не попадает в маску, оставаясь в составе прилегающих пикселей. Баланс между этими факторами зависит от размеров и геометрической формы зерновых полей и во многом определяет точность оценки площадей посевов зерновых культур.

Система учета различий между площадью, определяемой маской зерновых культур, и реальной ситуацией строится на использовании ряда локальных ГИС систем. ГИС охватывает отдельные тестовые районы с объемом яровых посевов в пределах 200–500 тыс. га. В основе ГИС лежит схема землепользования масштаба 1:100 000, содержащая информацию о площади каждого поля (до двух тысяч полей в одном административном районе области). Маска ярового сева для тестового района сопоставляется со схемой землепользования. Осуществляется дешифрирование всех засеянных полей с подсчетом их суммарной площади через соответствующую базу данных. Полученный результат сравнивается с пиксельным счетом по маске посевов, и определяются поправочные коэффициенты. В настоящий момент используются ГИС системы для 6 районов с суммарной площадью пахотных земель свыше 2 млн га.

Суммарная ошибка метода определения размера посевных площадей яровых зерновых культур по данным TERRA/MODIS для отдельной области (около 3 млн га посевов) находится в пределах 5,0 %. На рис. 5 показана карта-схема расположения маски ярового сева 2002 г. в пяти северных областях Казахстана.

Оценка площадей чистых паров

Система оценки площадей чистых паров базируется на спутниковых данных в красной и ближней инфракрасной частях спектра, которые особенно чувствительны к состоянию растительности, рис. 6. При подсчете паровых полей помимо спутниковых данных текущего года также используется прошлогодняя информация. Основная цель дешифрирования распознать яровые посевы прошлого и текущего года, посевы многолетних трав и залежи. Развиваются две оценки площади паров.

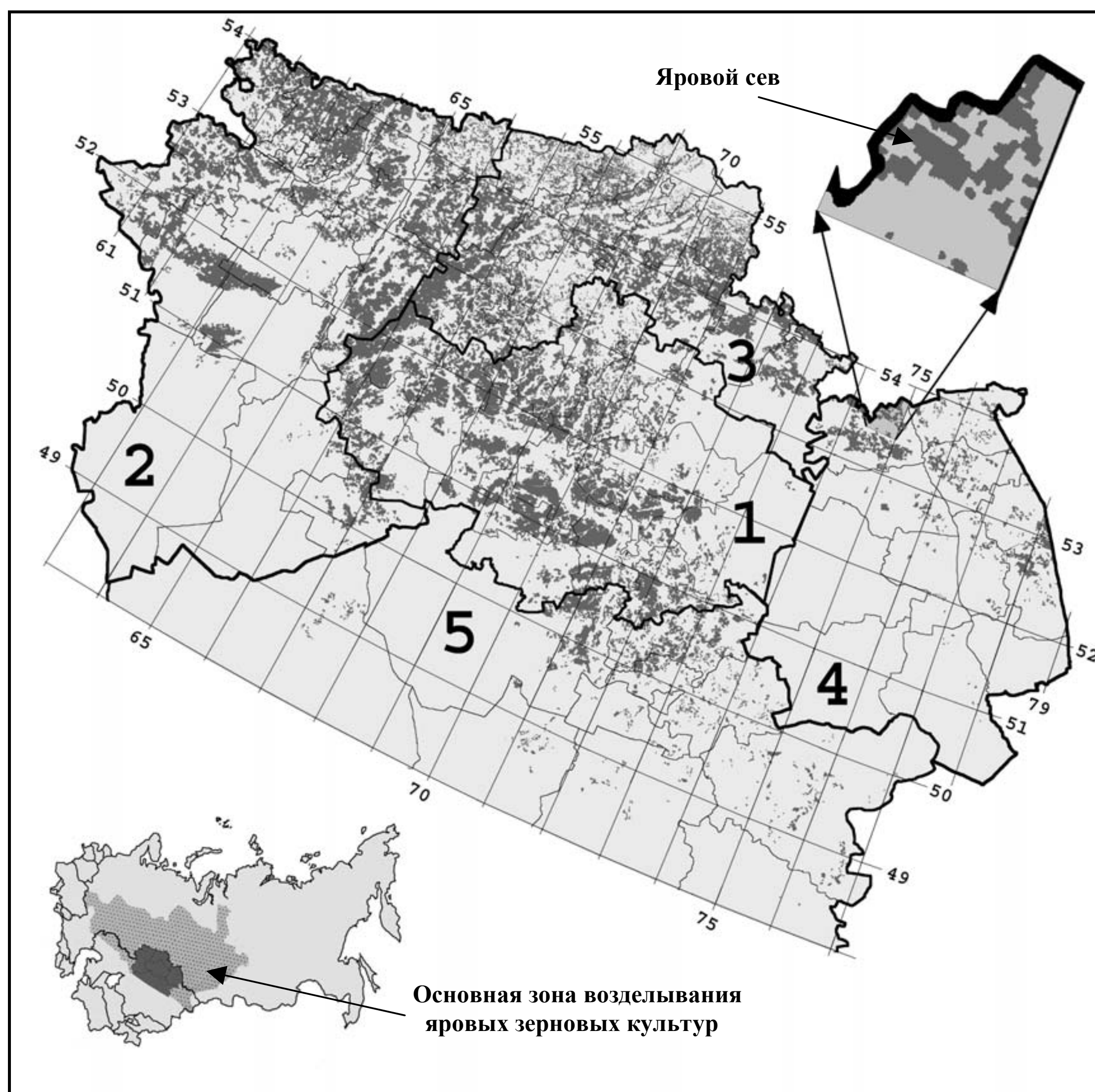


Рис. 5. Карта-схема расположения маски ярового сева 2002 года в пяти северных областях Казахстана

Площади полей, на которых механическая обработка проводится несколько раз в вегетационный период по мере роста сорной растительности, оцениваются через спутниковую маску. Такие поля легко выделяются от всех других типов землепользования по низким значениям коэффициентов отражения в ближней инфракрасной области во все периоды вегетационного сезона. Подобная оценка дается один раз в год для всех основных зерносеющих областей Северного Казахстана.

Вторая оценка подразумевает дешифрирование отдельных паровых полей с помощью спутниковых масок и плана землепользования в рамках специализированных ГИС. При этом определяется расположение всех паровых полей, рис. 7, а с помощью соответствующей базы данных рассчитывается их площадь. Оценка дается на ограниченное число сельскохозяйственных районов (100–400 тыс. га посевов).

В результате анализа сезонов 2002–2003 гг. в Северном Казахстане был зафиксирован рост доли паров, обрабатываемых согласно рекомендуемым нормам, от 6 до 12 %. Это связано с улучшением финансового положения сельскохозяйственных производителей в течение четырех последних, урожайных лет, ростом государственной поддержки до уровня 30 % от валовой стоимости сельскохозяйственной продукции и значительным развитием сорной растительности во влажные годы.

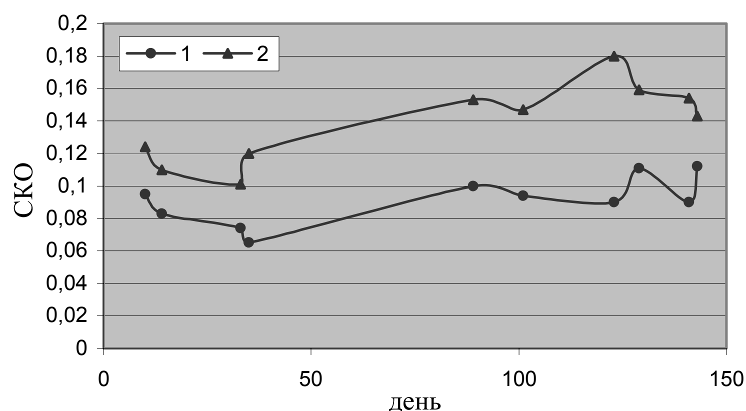


Рис. 6. Спектральные коэффициенты отражения парующегося поля Северного Казахстана в зоне темно-каштановых почв в течение вегетационного периода 2003 г. по данным EOS MODIS: канал 1 (620–670 нм); канал 2 (841–876 нм). За начало отсчета взято 1 мая

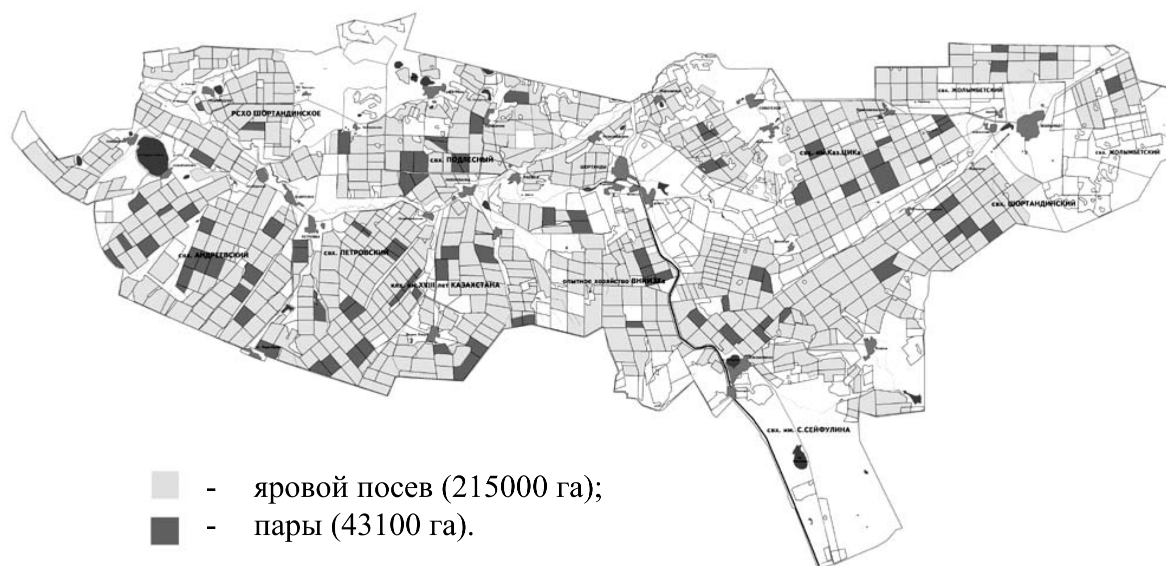


Рис. 7. Схема землепользования Шортандинского района Акмолинской области в 2002 г. (по данным EOS MODIS)

Оценка продуктивности яровых зерновых культур

В ИКИ развиваются два подхода к прогнозу урожайности яровых зерновых культур. Первый использует модель роста яровой пшеницы при сложившихся погодных условиях. Физиологическая модель роста сельскохозяйственных культур WOFOST имитирует рост пшеницы в заданных почвенных и метеорологических условиях с временным шагом в один день. Накопление биомассы вычисляется как функция метеопараметров, таких как: радиация, температура, осадки и др. Показателями продуктивности являются полная биомасса, листовой индекс, фенологическая стадия роста, урожайность. Как и все математические модели, WOFOST дает упрощенное представление о реальности. Предполагается идеальное состояние пшеницы, отсутствие засорения и болезней.

Второй — прогноз месячной заблаговременности, основанный на спектральных характеристиках посевов зерновых культур в фазе колошения-цветения и синхронном подспутниковом обследовании полей. Общая идея подхода — оценить спектральные характеристики обследованных полей и, используя полученную шкалу, взвесить через спутниковые данные все зерновые посевы. Опробованы различные вегетационные индек-

сы — NIR, NIR/RED, NDVI, WDVI, SAVI, GEMI. Наиболее эффективным оказался анализ значений ближнего инфракрасного канала (NIR) (в рамках одного безоблачного снимка) или индекса SAVI (soil adjusted vegetation index) [6] в более сложных случаях.

Методика совместной интерпретации спутниковой информации с данными маршрутных наземных наблюдений использовалась для прогноза урожайности в 2002 и 2003 гг. Калибровка космических съемок проводилась с помощью обследования состояния посевов в период массового колошения (конец июля) в Акмолинской, Северо-Казахстанской и Кустанайской областях. Наблюдения включали данные двух типов — подробные с подсчетом параметров биологической урожайности и оценкой степени засоренности и менее детальные с определением состояния поля и фенологической фазы. Паспортная информация всех наблюдаемых полей содержала географические координаты согласно GPS, что позволило идентифицировать посещенные поля на космической съемке и провести калибровку значений спектральных характеристик и параметров биологической продуктивности. Последующая коррекция расчетных данных включала учет степени засоренности посевов и ее влияния на урожайность яровых зерновых культур. Прогноз объема производства зерна по данным дистанционного зондирования составил по трем областям в 2002 г. — 13 и в 2003 г. — 10,6 млн т и отличался от предварительной информации Министерства сельского хозяйства менее чем на 15 %.

Заключение

Опыт космического мониторинга основных зерносеющих регионов Казахстана показал перспективность данного направления как одного из источников объективной информации о параметрах сельскохозяйственного производства. В будущем планируется внедрить в оперативную работу дистанционную оценку весенних предпосевных запасов продуктивной влаги в почве и проводить космический мониторинг распространения и развития особо опасных болезней зерновых культур. Очевидно, что внедрение национальной системы космического мониторинга сельского хозяйства позволит увеличить эффективность работы аграрного сектора республики. Технологии космического мониторинга с использованием возможностей сети Интернет сделает более открытой информацию о зерновом производстве Казахстана, что очень важно для интегрирования Казахстана в ВТО и мировой рынок сельскохозяйственной продукции.

Литература

1. Космические исследования в Казахстане / Под ред. акад. У.М. Султангазина. Алматы: РОНД, 2002. 490 с.

2. *Султангазин У.М.* Развитие космических технологий и методов дистанционного зондирования в Казахстане // Докл. АН РК. 1999. № 2. С. 9–16.

3. *Закарин Э.А.*, *Спивак Л.Ф.*, *Архипкин О.П.*, *Муратова Н.Р.*, *Терехов А.Г.* Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана. Алматы: Галым, 1999. 175 с.

4. *Terekhov A.*, *Muratova N.* Soils Spring Productive Moisture Reserve Evaluation Model for Northern Kazakhstan on the Basis of NOAA/AVHRR Information // Intern. Conf. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology III, Manfred Owe, Guido D'Urso, Editors. Toulouse, 17–21 Sep. 2001. Proc. of SPIE. 2002. V. 4542. P. 47–52.

5. *Doraiswamy P.*, *Muratova N.*, *Sinclair T.*, *Stern A.*, *Akhmedov B.* Evaluation of Modis Data for Assessment of Regional Spring Wheat Yield in Kazakhstan // Proc. IGARSS'2002 Symp., Toronto, Canada, 24–28 June 2002. V. I. P. 487–490.

6. *Huete A.R.* A soil adjusted vegetation index (SAVI) // Remote Sensing Environment. 1988. V. 25. P. 295–309.